

Agronomía Costarricense
Universidad de Costa Rica
agro_costarricense@cia.ucr.ac.cr
ISSN (Versión impresa): 0377-9424
COSTA RICA

2004

Alfredo Alvarado / Juan L. Fallas

LA SATURACIÓN DE ACIDEZ Y EL ENCALADO SOBRE EL CRECIMIENTO DE LA
TECA (*TECTONA GRANDIS* L.F.) EN SUELOS ÁCIDOS DE COSTA RICA

Agronomía Costarricense, enero-junio, año/vol. 28, número 001

Universidad de Costa Rica

San José, Costa Rica

pp. 81-87

Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal

Universidad Autónoma del Estado de México

Nota Técnica

**LA SATURACIÓN DE ACIDEZ Y EL ENCALADO SOBRE EL
CRECIMIENTO DE LA TECA (*Tectona grandis* L.f.) EN SUELOS ÁCIDOS DE
COSTA RICA¹**

Alfredo Alvarado^{2/*}, Juan L. Fallas^{**}

Palabras clave: Acidez, teca, *Tectona grandis*, encalado, Ultisoles.

Keywords: Acidity, teak, *Tectona grandis*, liming, Ultisols.

RESUMEN

Las plantaciones de teca (*Tectona grandis*) en suelos ácidos de Costa Rica, en las zonas sur y norte del país, se encuentran principalmente en suelos rojos y arcillosos (Inceptisoles y Ultisoles) con diferentes grados de acidez. En el presente trabajo, se demuestra la sensibilidad de la teca a la saturación de acidez del suelo, donde valores del 3% reducen significativamente el incremento medio anual en altura; por otro lado, valores de saturación con calcio en el suelo superiores al 68%, favorecen su crecimiento significativamente. Bajo estas condiciones, la adición de 1 kg CaCO₃ por árbol causó un incremento en la altura de los árboles del 59% y cuando se acompañó la enmienda con 150 g de 14-22-15-4-5 (N-P₂O₅-K₂O-MgO-S) por árbol, el incremento en altura de los árboles de un año de edad fue del 216%.

ABSTRACT

Soil acidity saturation and liming on the growth of teak (*Tectona grandis* L.f.) planted in acid soils of Costa Rica. Besides other soils in Costa Rica, teak is also planted in clayey, red, and acid soils (Inceptisols and Ultisols) of the northern and southern regions of the country. This study demonstrate the high sensitivity of teak to soil acidity saturation (% Ac. Sat.) since the annual height increment of the trees is severely reduced at values as low as 3% Ac. Sat. A similar effect was found when soil calcium saturation was below 68%, reflecting the need of teak for this element. Under these conditions, a 59% increment in growth was obtained when 1 kg CaCO₃ per tree was applied and a 216% increment in tree height was attained when the same amount of lime plus 150 g of the fertilizer formula 14-22-15-4-5 (N-P₂O₅-K₂O-MgO-S) per tree were added together to a one year old plantation.

1/ Recibido el 17 de octubre de 2003. Aceptado el 18 de marzo de 2004.

2/ Autor para correspondencia. Correo electrónico: alfredo@carriari.ucr.ac.cr

* Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

** Expomaderas. Alajuela, Costa Rica.

INTRODUCCIÓN

La acidez del suelo es un problema conocido desde hace muchos años, tanto así que este ha sido uno de los principales criterios empleados en los sistemas de clasificación de suelos, sea estimado como pH, saturación de bases, o simplemente dominancia de elementos como Al y Fe (pedalferes). Por muchos años, el concepto de disociación de las moléculas de agua en cantidades iguales de iones OH^- y H_3O^+ , bajo condiciones de laboratorio, empleado para definir el concepto de pH, permitió asumir como valor neutro el $\text{pH}=7$ en este tipo de sistema. En la segunda mitad del siglo XX se descubre que en el sistema suelo, la hidrólisis del Al^{+3} es la causante de producir grandes cantidades de iones H_3O^+ , siendo la presencia de este ión igualmente negativa para el crecimiento normal de las raíces de las plantas, para las cuales es tóxico (Kamprath 1967, Pearson 1975). Para este entonces, queda claro que la forma de Al^{+3} no puede ocurrir a valores de pH superiores a 5,5, por lo que este valor puede considerarse como “neutro” en el ecosistema suelo, y es por debajo de este valor que los contenidos de saturación de Al o de acidez aumentan exponencialmente.

Las principales formas de adaptación de las plantas a los efectos adversos de la acidez del suelo se pueden agrupar en 2 categorías: tolerancia de las especies a la acidez (Wright y Ferrari 1976, Baligar y Duncan 1990, Salas 1996) y la utilización de enmiendas para neutralizar la acidez (Sánchez y Salinas 1983, Espinosa y Molina 1999). Cuando la especie a cultivar es poco tolerante a la acidez del suelo, el uso de enmiendas es imperativo, sea a través de la adición de cenizas producto de las quemadas, o bien de cal agrícola.

La teoría sobre el encalado se conoce desde principios del siglo XX, aunque no es sino a partir de la mitad del mismo siglo que se retoma el tema y se definen claramente los factores que influyen en el cálculo de la necesidad de encalado. Para determinar la necesidad de cal se debe conocer 4 factores: 1) la tolerancia de la planta a la acidez; 2) el contenido de acidez del

suelo; 3) la calidad del producto encalante a utilizar y 4) los aspectos de manejo del producto involucrados en la aplicación del mismo (al voleo, en banda, incorporado, etc.).

Algunos autores han desarrollado modelos matemáticos que permiten calcular la cantidad de encalado a utilizar para neutralizar la acidez del suelo, considerando los factores mencionados (Cochrane *et al.* 1980, Soil Management C.R.S.P. 2002). Dichos autores asumen que la neutralización de la acidez del suelo puede explicarse con modelos lineales, siendo la principal diferencia que el primero de ellos supone que este mecanismo tiene la misma intensidad, independientemente del grado de acidez del suelo; mientras que el segundo utiliza la combinación de 2 ecuaciones lineales con diferente pendiente, asumiendo que la neutralización de la acidez del suelo es más difícil a niveles bajos de saturación de Al (Soil Management C.R.S.P. 2002). Para realizar el cálculo de la necesidad de encalado a aplicar, utilizando las ecuaciones anteriormente mencionadas, es necesario conocer el grado de saturación de Al que tolera la especie a cultivar, por lo que se han desarrollado cuadros con estos valores para cultivos agrícolas (Bertsch 1995).

Para el caso de las especies forestales de importancia, no se conocen valores de tolerancia a la acidez del suelo. Sin embargo, se sabe que *Vochysia ferruginea* y *Vochysia guatemalensis* toleran valores elevados de saturación de Al (Pérez *et al.* 1993); en este caso, al igual que sucede con otras especies como *Hieronyma alchorneoides*, *Terminalia amazonia* y *Calophyllum brasiliense*, la respuesta al encalado puede ser hasta negativa (Calvo *et al.* 1995).

Cuando las especies a considerar crecen naturalmente en suelos derivados de materiales calcáreos, o en suelos aluviales fértiles, tales como *Tectona grandis*, *Gmelina arborea*, *Cordia alliodora* y *Bombacopsis quinata*, la situación es diferente ya que estas especies, cuando se plantan en suelos ácidos (principalmente Ultisoles y Oxisoles), si responden al encalado y se ven favorecidas por la adición de bases cambiables al suelo (Delgadillo *et al.* 1991, Vallejos 1996, Montero 1999). Para el caso

de *T. grandis*, en África Oriental se considera que valores de Al intercambiable entre 2,55 y 6,55 cmol (+) l⁻¹ son altos, mientras que en otros lugares se recomienda mantener el nivel de saturación de Al en el suelo por debajo del 8% (Expomaderas y Coillte 2002). Zech y Drechsel (1990), mencionan que la teca, indiferentemente de la edad de la plantación, presenta un crecimiento pobre cuando el pH en CaCl₂ es menor a 4,3, mientras que cuando es mayor a 4,7 el crecimiento es bueno; bajo estas condiciones, los suelos tienen valores de Ca intercambiable bajos, por lo que se considera apropiado dejar en el campo la corteza de la madera de teca (rica en este elemento) y reducir así las posibilidades de inducir deficiencias de Ca después de la primera rotación de la plantación. Oliveira (2003), estima como parámetros ideales para calcular la necesidad de encalado y fertilización de la teca en Brasil, que el suelo debe tener un máximo de saturación de Al del 10%, al menos 2,5 cmol (+) Ca + Mg dm⁻³, una saturación de bases del 65% y un pH=6.

El presente trabajo se realizó con el fin de determinar el grado de tolerancia a la saturación de Al en el complejo de intercambio del suelo en plantaciones de teca de menos de 25 años en Costa Rica, con el fin de poder emplear este valor en el cálculo de las necesidades de encalado a aplicar en el establecimiento y manutención de la fertilidad del suelo de las plantaciones.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la determinación de las correlaciones entre las variables del suelo y del crecimiento de la teca (*Tectona grandis*) se utilizaron 3 bases de datos, todas con información generada para plantaciones de teca en Costa Rica y de las cuales se usó solamente las variables pH (H₂O), Ca, Mg, K y Al intercambiables, así como el incremento medio anual en altura (IMA-H) de los árboles de

teca, durante el último año de crecimiento de árboles entre 0 y 25 años de edad. Las bases de datos originales pertenecen a la empresa Expomaderas S.A., Vallejos (1996) y Montero (1999); todos los suelos clasificaron como Typic Hapludults, Typic Haplohumults y Typic Hapludepts y las principales características de fertilidad del horizonte superior de los mismos se incluyen en el cuadro 1.

Con las variables seleccionadas se generó una nueva base de datos, en la cual los valores se ordenaron en orden de pH creciente, separándose posteriormente los sitios con pH <6, de manera que de la base de datos de la empresa Expomaderas S.A se utilizaron 9 sitios y los 5 restantes provienen de los trabajos de Vallejos (1996) y Montero (1999). En el primer caso los análisis de suelos fueron realizados en los laboratorios del Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica y en los 2 últimos en el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), extrayéndose los elementos Ca, Mg y Al intercambiables con KCl 1 molar y el K por el método de Olsen modificado (Díaz-Romeu y Hunter 1978).

Para estudiar el efecto del encalado y la fertilización sobre el crecimiento de la teca, se midió la altura de los árboles en forma rutinaria en 3 parcelas permanentes de medición de 900 m² (repeticiones) para cada tratamiento, antes de la aplicación en banda de las enmiendas y 1 año después de la adición de 1 kg cal árbol⁻¹ con o sin 150 g fertilizante 14-22-15-4-5 (N-P₂O₅ -K₂O-MgO-S) árbol⁻¹. El porcentaje de incremento en altura se calculó empleando la fórmula % Incr.=100 * [(valor último-valor inicial) / valor inicial].

El análisis estadístico de los datos se llevó a cabo utilizando el paquete SAS (2001) y fue realizado en la Universidad del Estado de Carolina del Norte, empleando los modelos Non-Line y regresión lineal, con la colaboración del Dr. Jot T. Smith.

Cuadro 1. Variación de los parámetros de acidez del suelo en plantaciones de teca (*Tectona grandis*) con pH menor a 6 en los sitios en estudio.

No. sitio	pH (H ₂ O)	Ca	Mg	K	Acidez Inter.	CICE.	Sat Ac	Sat. Ca	Fuente
							cmol (+) l ⁻¹		
1	4,97	5,45	1,29	0,33	0,35	7,41	4,72	73,55	Expom.(2003)
2	5,06	4,87	1,49	0,25	0,26	6,87	3,78	70,94	Expom.(2003)
3	5,10	3,66	2,56	0,28	1,91	8,41	2,71	43,52	Montero(1999)
4	5,20	4,75	1,20	0,15	0,20	6,30	3,17	75,40	Expom.(2003)
5	5,27	4,19	1,30	0,09	0,41	5,97	6,87	70,10	Expom.(2003)
6	5,30	3,95	1,30	0,15	0,30	5,70	5,26	69,30	Expom.(2003)
7	5,30	5,34	1,54	0,12	0,41	7,41	5,53	72,06	Vallejos(1996)
8	5,30	0,74	0,46	0,11	0,11	1,42	7,75	52,11	Montero(1999)
9	5,40	1,31	0,29	0,08	0,62	2,30	26,96	56,96	Montero(1999)
10	5,47	8,10	2,68	0,15	0,18	11,11	1,62	72,91	Expom.(2003)
11	5,50	5,69	2,48	0,22	0,82	9,21	8,90	61,78	Montero(1999)
12	5,52	6,58	1,16	0,35	0,20	8,28	2,27	79,38	Expom.(2003)
13	5,84	10,05	1,67	0,38	0,16	12,26	1,30	82,01	Expom.(2003)
14	5,97	8,00	1,53	0,12	0,13	9,78	1,33	81,80	Expom.(2003)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Síntomas visuales causados por la toxicidad por acidez

Los árboles afectados por problemas de acidez presentan una reducción del crecimiento ortotrópico, lo que se refleja en la presencia de segmentos de crecimiento muy cortos y entrenudos muy cercanos en la sección apical; un amarillamiento generalizado de los ápices, los cuales en casos extremos llegan a morir; la parte inferior del follaje presenta hojas necrosadas en los bordes y a veces en forma total, efecto asociado a la baja fertilidad de los suelos que provoca una posible deficiencia de bases (Ca, Mg y K) en las hojas. En casos extremos, se observa que en los árboles afectados por acidez pueden prosperar con mayor facilidad microorganismos oportunistas, causales de la muerte descendente de los mismos; este problema puede asociarse al bajo contenido de pectato de calcio en la pared celular de los tejidos, lo que facilita el proceso de infección de los patógenos. La mayor incidencia del problema ocurre en las laderas erosionadas, donde el horizonte B ácido queda expuesto a la superficie y

afecta en forma negativa el crecimiento de los árboles de teca (Figura 1). Aunque pueden presentarse algunos efectos de la acidez del suelo sobre el sistema radical de los árboles, estos no se estudiaron en el presente trabajo. En árboles afectados por este problema, después de cierto número de años se puede observar que las raíces sufren un necrosamiento, que se inicia en la parte apical de la raíz y con el tiempo se acerca a la base del árbol.



Fig. 1. Crecimiento de la teca en Ultisoles en la zona Norte de Costa Rica.

Efecto de la acidez del suelo sobre el crecimiento de los árboles

En la figura 2 se describe el comportamiento del incremento medio anual en altura (IMA-H) de la teca en suelos de Costa Rica con pH inferior a 6. Se nota que el IMA-H de los árboles se reduce de 3,9 a 1,5 m año⁻¹ cuando la saturación de acidez del suelo aumenta de 1 a 5,8% y que a valores de saturación de acidez mayores, los árboles tienden a crecer aún menos (en promedio 1,45 m año⁻¹). Este comportamiento coincide con el conocimiento que sobre esta especie se ha desarrollado en África (Zech y Drechsel 1990, Expomaderas y Coillte 2002) y en Brasil (Oliveira 2003). La merma en IMA-H puede explicarse en términos de un escaso desarrollo radical de la teca bajo estas condiciones, así como al escaso grado de infección por hongos micorrízicos en dicho sistema radical, tal cual lo confirman Alvarado *et al.* (2002). El efecto de quema de los ápices radicales provocada por la acidez en especies no forestales está bien documentado desde hace varios años (Wright y Ferrari 1976, Baligar y Duncan 1990, Salas 1996).

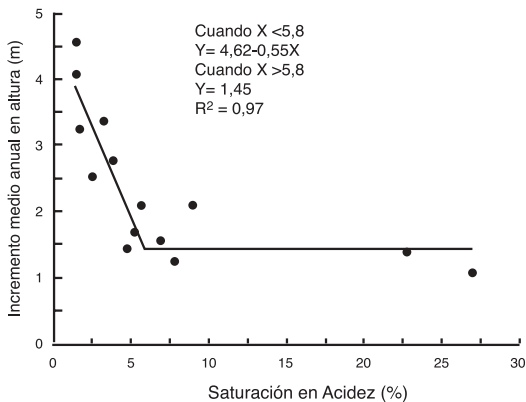


Fig. 2. Efecto de la saturación de acidez del suelo sobre el IMA-H de la teca en suelos con pH <6 de Costa Rica.

Si se considera el efecto que tiene el porcentaje de saturación con Ca del suelo sobre el IMA-H (Figura 3), se nota que a valores inferiores al 67,6% el IMA-H se mantiene alrededor de 1,75 m año⁻¹ y que conforme este valor

aumenta, el crecimiento de la teca mejora significativamente; este valor coincide con el valor de 65% de saturación de bases mencionado por Oliveira (2003) en plantaciones de menos de 53 meses de edad en Brasil. El efecto del Ca y del Mg sobre el crecimiento de la teca en suelos ácidos ha sido mencionado por varios autores (Laurie 1975, Hase y Foelster 1983) y se atribuye al hecho de que la especie crece en forma natural en suelos derivados de materiales parentales básicos en su lugar de origen (p.e. calizas y suelos aluviales fértiles). En estudios sobre los factores ambientales que determinan la calidad de sitio para teca en Costa Rica, también se ha encontrado una correlación significativa y positiva con los contenidos de Ca y Mg en el suelo (Vallejos 1996, Montero 1999).

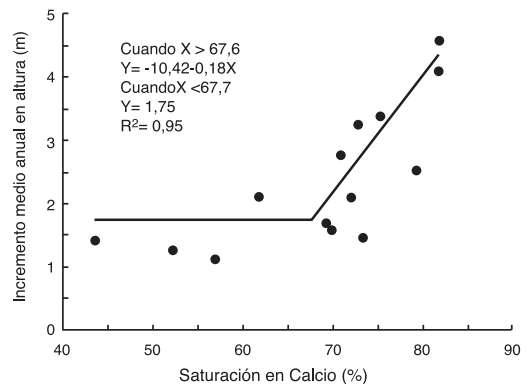


Fig. 3. Efecto de la saturación de calcio del suelo sobre el IMA-H de la teca en suelos con pH <6 de Costa Rica.

Respuesta de los árboles a la adición de cal y fertilizante

En el cuadro 2 puede notarse la altura total de los árboles en plantaciones de teca de menos de 5 años de edad en el año 2002, antes de aplicar 1 kg CaCO₃ árbol⁻¹ y 150 g de 14-22-15-4-5 árbol⁻¹ con relación a la altura total, en las mismas plantaciones en el año 2003. En promedio la aplicación individual de la cal permitió elevar en un 59% el incremento de la altura de los árboles, mientras que la aplicación conjunta de la cal con el fertilizante causó un incremento promedio del 216%. Si se aplica

Cuadro 2. Altura total (promedio de 3 repeticiones) en plantaciones de teca (*Tectona grandis*) de menos de 5 años antes (abril, 2002) y después (abril, 2003) de encalar y fertilizar el terreno.

No. de sitio	Tratamiento	Altura total 2002	Altura total 2003	% Incremento
1	Cal	1,68	2,08	24
2	Cal	4,08	6,94	70
Promedio	Cal	2,88	4,51	59
3	Cal + Fert	1,44	4,93	242
4	Cal + Fert	3,36	6,14	83
5	Cal + Fert	1,56	6,57	321
Promedio	Cal+Fert	2,12	5,88	216

1 kg CaCO₃ árbol⁻¹ y la plantación consiste de 1000 árboles ha⁻¹ y este proceso se realiza sobre toda la superficie, entonces la dosis aplicada sería de 1 t ha⁻¹; sin embargo, dado que en el presente caso la aplicación de la cal fue al voleo y localizada alrededor de los árboles (en un área aproximada de 2 m² árbol⁻¹), el área cubierta con este producto fue de 2000 m² y así podría considerarse que la dosis de producto aplicada fue de aproximadamente 5 t ha⁻¹.

CONCLUSIONES

1. El crecimiento en altura de los árboles de teca de menos de 25 años de edad en suelos ácidos (pH<6), está fuertemente condicionado por los porcentajes de saturación de acidez mayores a 3% y calcio menores al 68%.

2. La adición de 1 kg de CaCO₃ árbol⁻¹ y 150 g árbol⁻¹ de fertilizante 14-22-15-4-5 después de la siembra, en plantaciones de teca menores de 5 años, mejoró el crecimiento de la altura de los árboles en un 216%. Deberá hacerse experimentos para estimar el efecto del encalado y la fertilización en plantaciones de mayor edad.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento a la empresa Expomaderas S.A. por autorizar el uso de datos de investigación generados por la misma.

LITERATURA CITADA

- ALVARADO A., BONICHE J., CHAVARRÍA M. 2002. Micorrización natural en plantaciones de teca (*Tectona grandis*) en Guanacaste, Pacífico Central/ Sur y Zona Norte de Costa Rica. Informe de consultoría. Centro Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 27 p.
- BALIGAR V.C., DUNCAN R.R. (eds.). 1990. Crops as enhancers of nutrient use. Academic. San Diego, California. 574 p.
- BERTSCH F. 1995. La fertilidad de los suelos y su manejo. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica. 157 p.
- CALVO J., ARIAS D., SIBAJA A. 1995. Resultados de un ensayo de encalado y fertilización en plantaciones de *Terminalia amazonia* en un suelo Ultisol en Buenos Aires de Osa. Proyecto "Recuperación de tierras degradadas para el manejo productivo: reforestación con especies nativas en la zona sur de Costa Rica". OET-ITCR-DUKE-USAID. Documento de trabajo. San José, Costa Rica. p. 61-65.
- COCHRANE T.T., SALINAS J.G., SANCHEZ P.A. 1980. An equation for liming acid mineral soils to compensate crop aluminium tolerance. Tropical Agriculture 57: 133-140.
- DELGADILLO R., ALDUNATE J., ALVARADO A. 1991. Situación de la agroforestería en el subtrópico húmedo de la región del Chapare, Bolivia. In: T.J Smyth, W.R. Raun y F. Bertsch (eds.). Manejo de suelos tropicales en Latinoamérica. NCSU/CIMMYT/UCR/USAID. San José, Costa Rica. p. 257-263.
- DÍAZ-ROMEY R., HUNTER A. 1978. Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal e investigación en invernadero. CATIE, Turrialba. 61 p.

- ESPINOSA J., MOLINA E. 1999. Acidez y encalado de los suelos. INPOFOS. Boletín de Investigación y Educación. 42 p.
- EXPOMADERAS, COILLTE. 2002. Technical criteria for the cultivation of teak (*Tectona grandis* Linn f.) plantations. Issue No. 2. Ciudad Quesada, Costa Rica. Internal Report. 24 p.
- HASE H., FOELSTER A. 1983. Impact of plantation forestry with teak (*Tectona grandis*) on the nutrient status of young alluvial soils in West Venezuela. *Forest Ecology and Management* 6(1): 33-57.
- KAMPRATH E.J. 1967. Acidez del suelo y su respuesta al encalado. *International Soil Testing. Bol. Téc. No. 4.* Raleigh, North Carolina. 24 p.
- LAURIE M.V. 1975. Prácticas de plantación de árboles en la sabana africana. FAO. Cuadernos de Fomento Forestal No. 19. Roma. 2033 p.
- MONTERO M. 1999. Factores de sitio que influyen en el crecimiento de *Tectona grandis* L.f. y *Bombacopsis quinata* (Jacq.) Dugand, en Costa Rica. Tesis Mag. Ciencias. Universidad Austral de Chile, Valdivia/CATIE, Turrialba, Costa Rica. 111 p.
- OLIVEIRA J.R.V. de. 2003. Sistema para cálculo de balanço nutricional e recomendação de calagem e edubação de povoamentos de teca- NUTRITECA. Tesis Mg. Sc. Programa de Pósgraduação em Solo e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Brasil. 76 p.
- PEARSON R.W. 1975. Soil acidity and liming in the humid tropics. *Cornell Inter. Agric. Bul. No. 30.* Ithaca, Cornell. 66 p.
- PEREZ J., BORNEMISZA E., SOLLINS P. 1993. Identificación de especies forestales acumuladoras de aluminio en una plantación experimental ubicada en Sarapiquí, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 17(12): 99-104.
- SALAS R. 1996. El aluminio en la relación suelo planta. In: F. Bertsch, W. Badilla y E. Bornemisza (eds.). Suelos, ¿puede la agricultura sostenible ser competitiva?. X Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales, III Congreso Nacional de Fitopatología y II Congreso Nacional de Suelos. Volumen III. EUNED/EUNA. San José, Costa Rica. p. 109-113.
- SÁNCHEZ P.A., SALINAS J.A. 1983. Suelos ácidos, estrategias para su manejo con bajos insumos en América Tropical. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo (ed.). Bogotá, Colombia. 93 p.
- SOIL MANAGEMENT C.R.S.P. 2002. Nutrient management support system (NuMaSS) version 2.0 (Beta). Cornell, Hawaii, N.C. State University, Texas A&M. North Carolina, USA. Disco Compacto.
- VALLEJOS B.O. 1996. Productividad y relaciones del índice de sitio con variables fisiográficas, edafoclimáticas y foliares para *Tectona grandis* L.f., *Bombacopsis quinata* (Jacq.) Dugand y *Gmelina arborea* Roxb. en Costa Rica. Tesis Mag. Ciencias. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 147 p.
- WRIGHT M.J., FERRARI S.A. (eds.). 1976. Plant adaptation to mineral stress in problem soils. Proceedings of a workshop held at the National Agricultural Library. Beltsville, Maryland, November 22-23, 1976. 420 p.
- ZECH W., DRECHSEL P. 1991. Relationships between growth, mineral nutrition and site factors of teak (*Tectona grandis*) plantations in the rainforest zone of Liberia. *Forest Ecology and Management* 41: 221-235.